

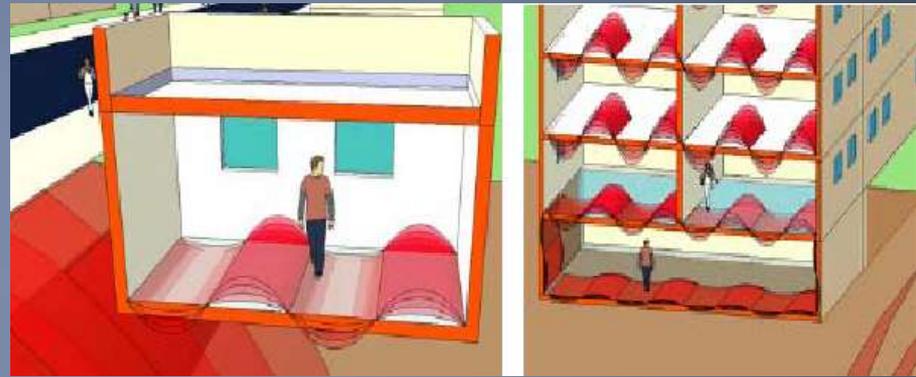
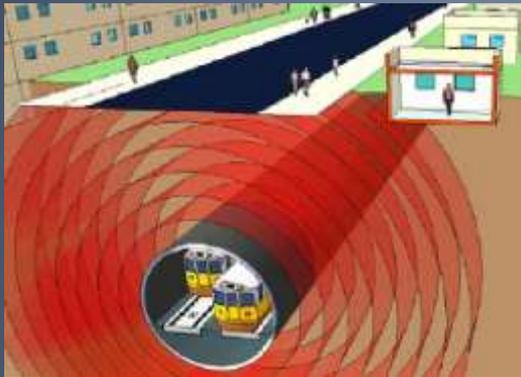
# Análise do comportamento estrutural das lajes de concreto armado dos Aparelhos de Mudança de Via (AMV), com sistema de amortecimento de vibrações, oriundas dos tráfegos dos trens, da Linha 2 - Verde, do METRÔ de São Paulo

Roberta Leopoldo e Silva (1); Janaína Tobias de Carvalho (2);  
Marcos Di Siervi e Silva (3); Alessandro Lugli Nascimento (4);  
Adilson Roberto Takeuti (5); Francisco José Valentim (6)

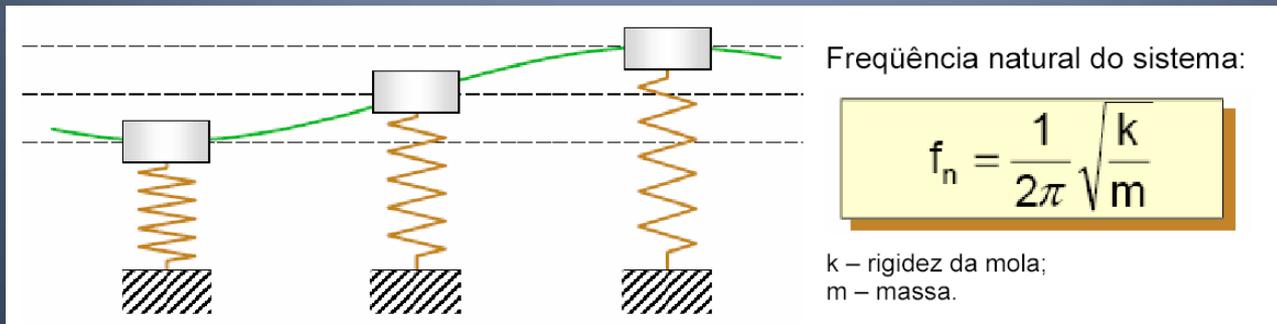
*(1, 3 e 4) Planservi Engenharia, Depto. de Estruturas*

*(2, 5 e 6) Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô, Departamento de concepção de via permanente e de desapropriação*

PASSAGEM DOS TRENS → EXCITAÇÕES NA VIA PERMANENTE →  
EM FUNÇÃO DAS FREQUÊNCIAS NATURAIS DOS DIVERSOS COMPONENTES  
DAS EDIFICAÇÕES LINDEIRAS E CARACTERÍSTICAS DOS SOLO DO ENTORNO  
PODEM OCORRER EFEITOS RESSONANTES → DESCONFORTO AOS  
OCUPANTES



FUNÇÃO DO SISTEMA DE MASSA MOLA = ATENUAR VIBRAÇÕES



## APARELHO DE MUDANÇA DE VIA

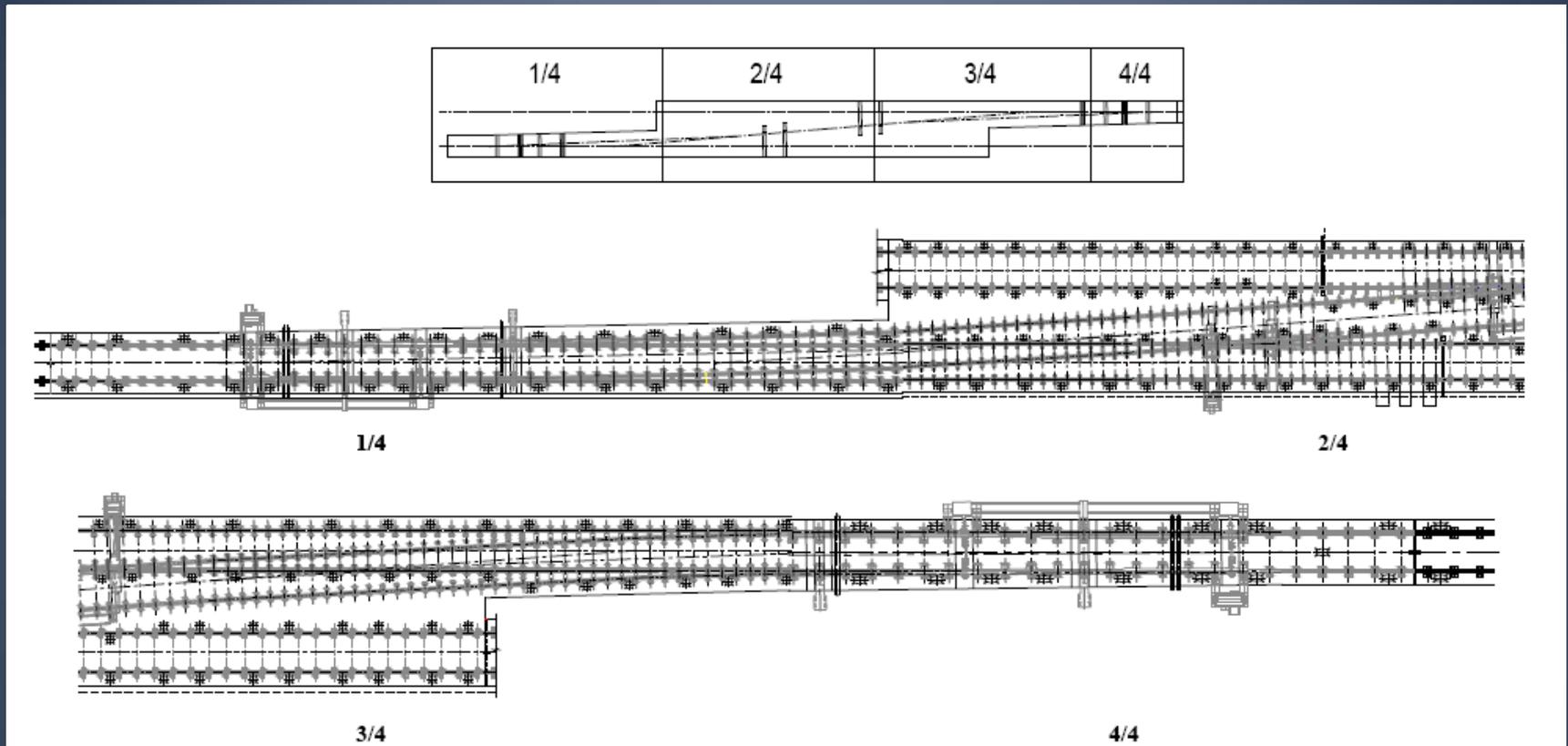


SISTEMA DE ATENUAÇÃO EM LAJE FLUTUANTE DE 43cm DE ESPESSURA CONSTANTE APOIADA SOBRE **ISOAMORTECEDORES** – MOLAS METÁLICAS IMERSAS EM MATERIAL VISCOSO

GRANDE ATENUAÇÃO DE VIBRAÇÕES EM COMPARAÇÃO COM DEMAIS SISTEMAS

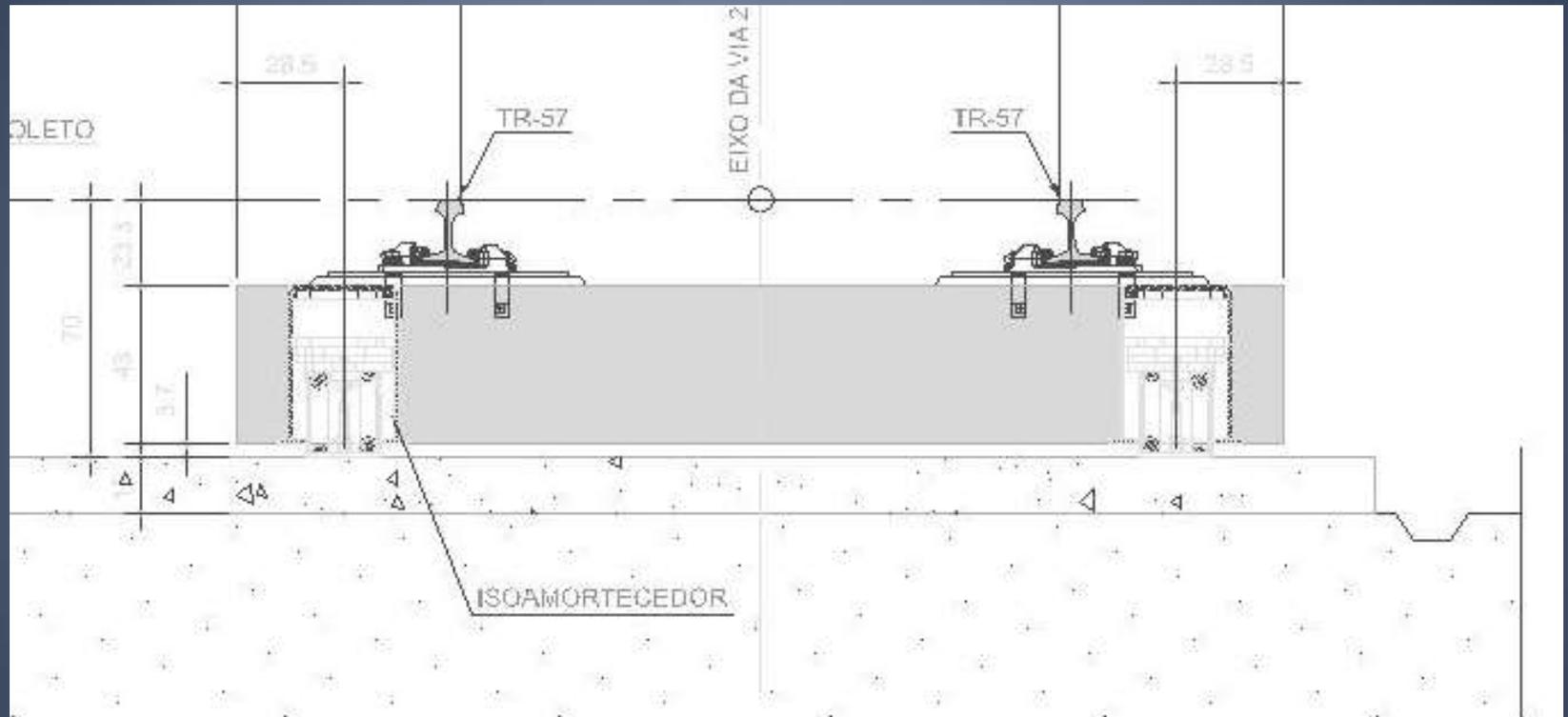
EM AMVs , FOI UTILIZADO POR MOTIVOS CONSTRUTIVOS – FACILIDADE NO ACIONAMENTO DA LAJE

# PLANTA TÍPICA DE UM DOS AMVs



CADA CONJUNTO POSSUI APROXIMADAMENTE 100m DE COMPRIMENTO ENTRE JUNTAS DE DILATAÇÃO

# SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA



# JUNTAS DE DILATAÇÃO

## BARRAS DE TRANSFERÊNCIA:

POSSIBILITAM DESLOCAMENTOS RELATIVOS LONGITUDINAIS E IMPEDEM OS TRANSVERSAIS – TRANSFERINDO FORÇAS CORTANTES E MOMENTOS FLETORES

- REDUZIR AS TENSÕES NOS TRILHOS EM CONDIÇÃO DE SERVIÇO NAS REGIÕES DE JUNTA – ONDE SÃO SUBMETIDOS A MAIORES SOLICITAÇÕES
- GARANTIR SEGURANÇA EM EVENTUAL RUPTURA DUPLA DE TRILHO NA REGIÃO DA JUNTA

# BARRAS DE TRANSFERÊNCIA



# MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

## MODELO GERAL

### CARACTERÍSTICAS

- TRILHOS CONTÍNUOS
- PASSAGEM DO TREM EM INÚMERAS POSIÇÕES E CONDIÇÕES
- ANÁLISE LINEAR
- ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS E DE SERVIÇO NAS CONDIÇÕES NORMAIS DE UTILIZAÇÃO

### VERIFICAÇÕES

- VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA LAJE
- VERIFICAÇÕES DE FADIGA DAS ARMADURAS, DO CONCRETO
- VERIFICAÇÕES DE SERVIÇO – ABERTURAS DE FISSURAS E DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS

# CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DO MODELO GERAL

## ELEMENTOS DE LAJE

- ELEMENTOS FINITOS DE PLACA DE FORMA QUADRILATERAL DE 43cm DE ESPESSURA E RIGIDEZ REDUZIDA A 40% DA INTEGRAL PARA SIMULAR FISSURAÇÃO EM ESTÁDIO II E EFEITOS DE FADIGA

- DIMENSÕES MÉDIAS:

- CERCA DE 20X20cm<sup>2</sup> (FUNÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE FIXAÇÕES)

- REBAIXOS NAS LAJES – PARA FUNCIONAMENTO DO BARRAMENTO DAS MÁQUINAS DE CHAVE – ELEMENTOS DE MENOR ESPESSURA E COM SEU CG DESLOCADO À SUA CORRETA POSIÇÃO POR MEIO DE OFFSETS

## •ELEMENTOS DE TRILHO

- ELEMENTOS DE BARRA, COM AS ÁREAS, INÉRCIAS, E MÓDULO DE ELASTICIDADE EQUIVALENTES AOS REAIS

- CONTINUIDADE NAS JUNTAS

- DISTÂNCIA DE 45cm ACIMA DO EIXO DAS PLACAS = REAL BRAÇO DE ALAVANCA ENTRE O PONTO DE APLICAÇÃO DAS CARGAS DE TREM-TIPO E EIXO DA LAJE.

# CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DOS MODELO GERAL

## ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

BARRAS VERTICAIS DE 45cm DE ALTURA, COM ÁREAS E INÉRCIAS DE RIGIDEZ EQUIVALENTE À DAS FIXAÇÕES

## ELEMENTOS DE APOIO

MOLAS COM OS COEFICIENTES ELÁSTICOS (HORIZONTAIS E VERTICAIS) FORNECIDOS PELO FABRICANTE DOS ISOAMORTECEDORES

$K_{\text{VERT}}=6,630 \text{ KN/mm}$ ;  $K_{\text{LONG}}= K_{\text{TRANSV}}= 4,930 \text{ KN/mm}$

## ELEMENTOS DE BARRAS DE TRANSFERÊNCIA

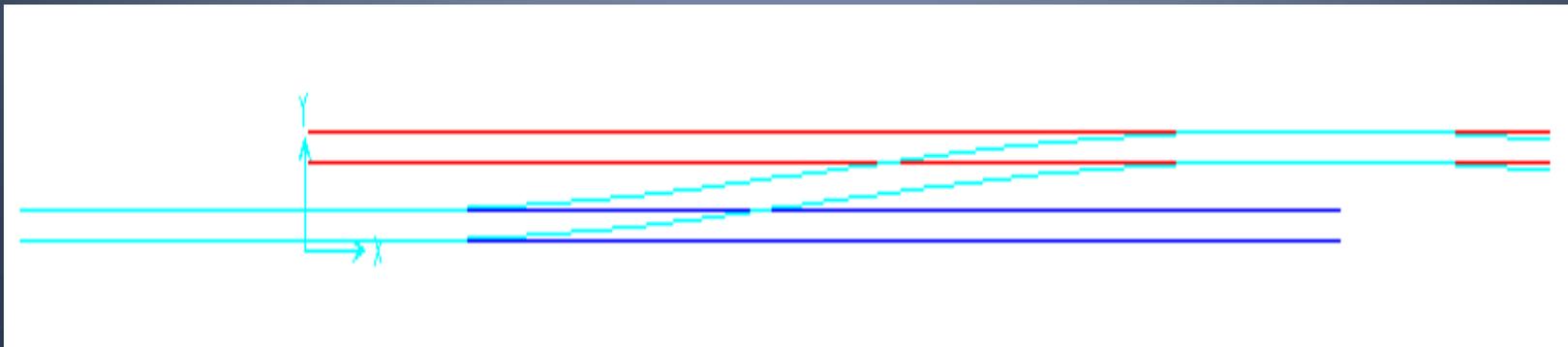
BARRAS LONGITUDINAIS CUJA VINCULAÇÃO EM UMA EXTREMIDADE É LIVRE À TRANSLAÇÃO LONGITUDINAL E VINCULADA À TRANSLAÇÃO TRANSVERSAL

SOB CADA TRILHO ENTRE 8  $\phi$  38 mm E 12  $\phi$  38 mm, E NO MODELO, ADOTOU-SE UMA BARRA COM A SOMA DAS CARACTERÍSTICAS DE ÁREA E INÉRCIA DO CONJUNTO.

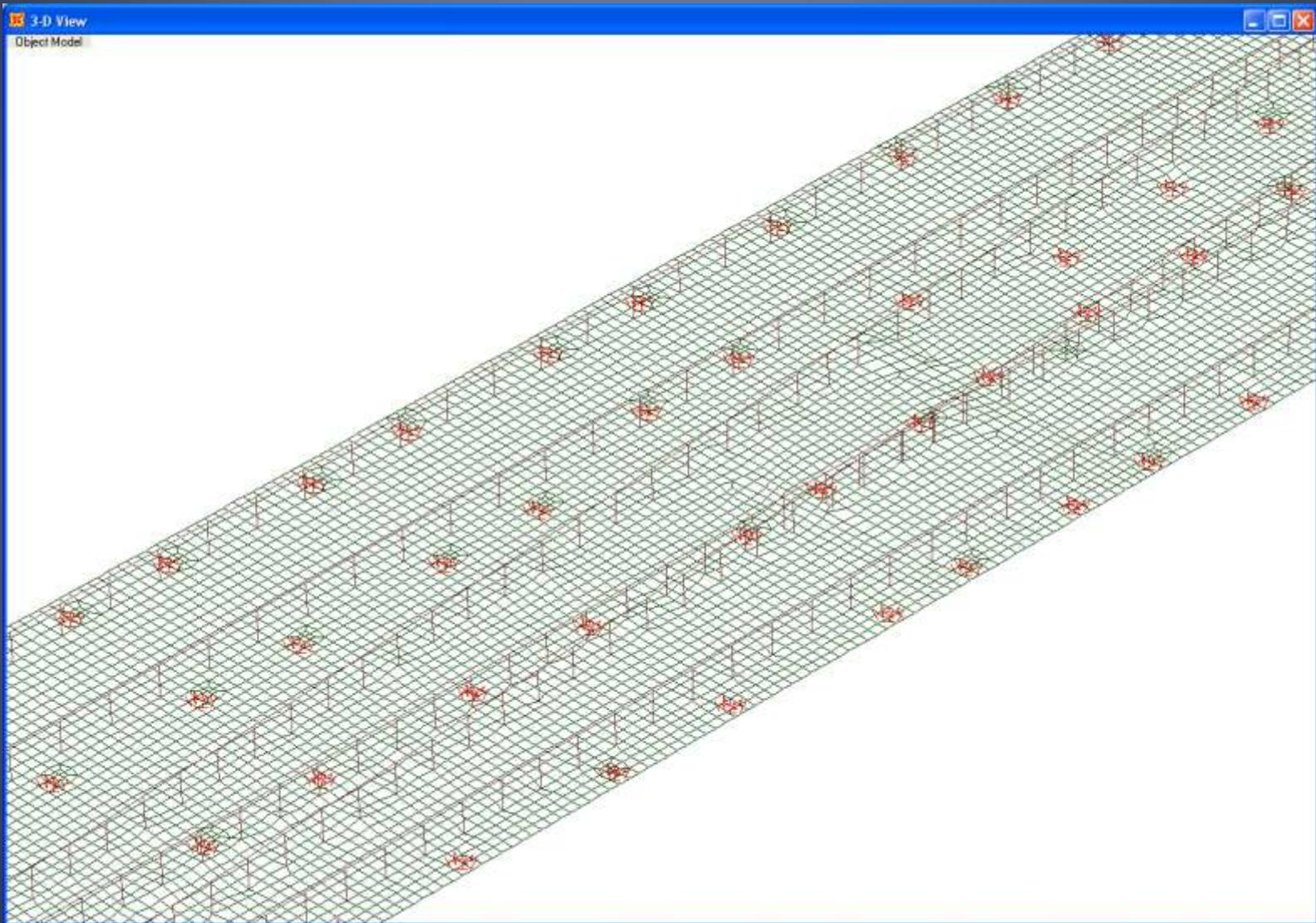
COMPORTAMENTO LINEAR

# MODELO GERAL

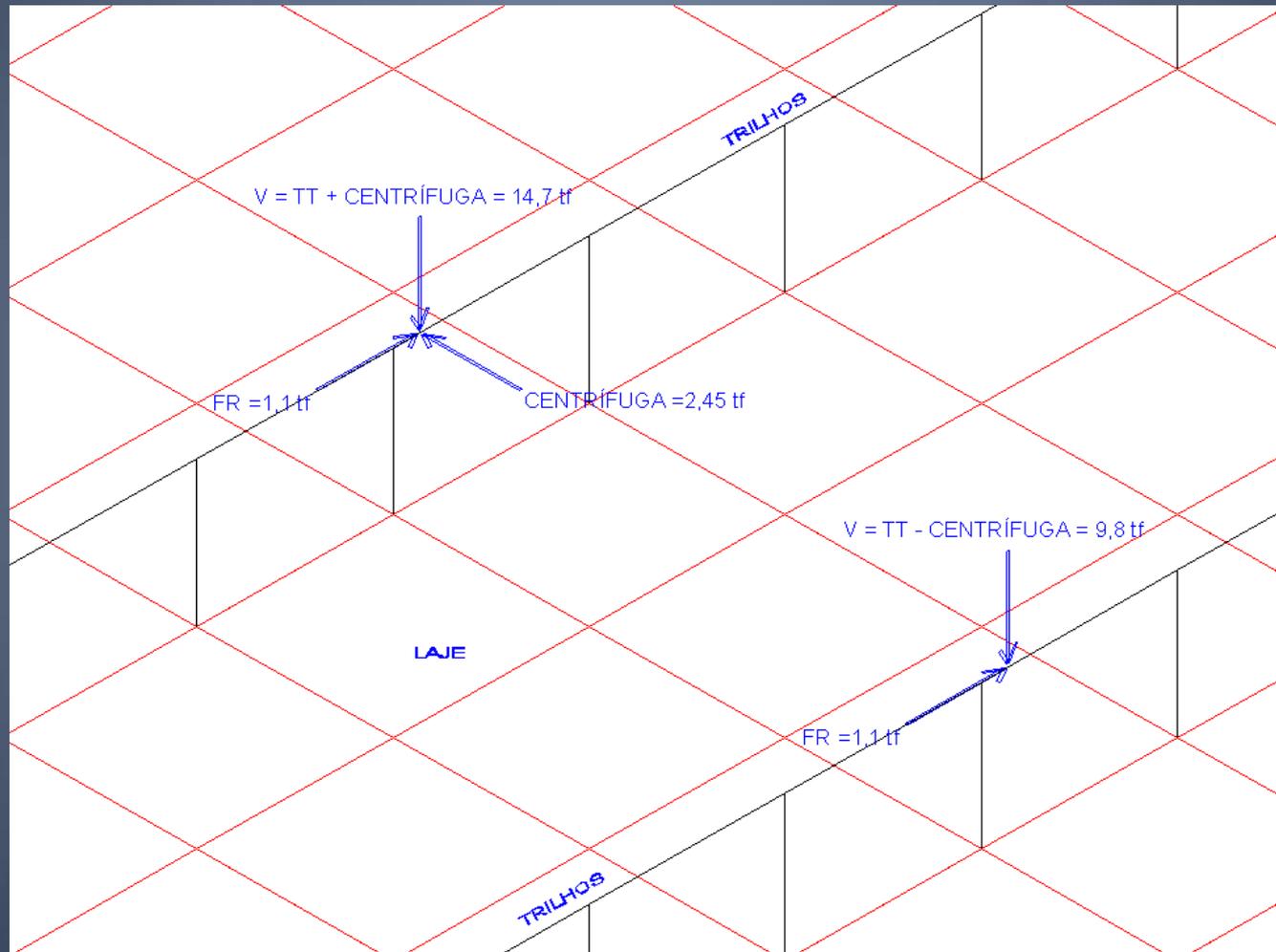
- APLICAÇÃO DE CARGA DE TREM CORRENDO EM DIVERSAS POSIÇÕES AO LONGO DAS VIAS:
- 1 trem-tipo na via corrida 1 – sem força centrífuga, com choque lateral com e sem frenagem;
- 1 trem-tipo na via corrida 2 – sem força centrífuga, com choque lateral com e sem frenagem;
- 2 trens-tipos simultâneos nas vias corrida 1 e 2 – sem força centrífuga, com choque lateral com e sem frenagem;
- 1 trem-tipo na via desviada – com força centrífuga, sem choque lateral, com e sem frenagem.



# VISTA DE UMA REGIÃO DO MODELO GERAL

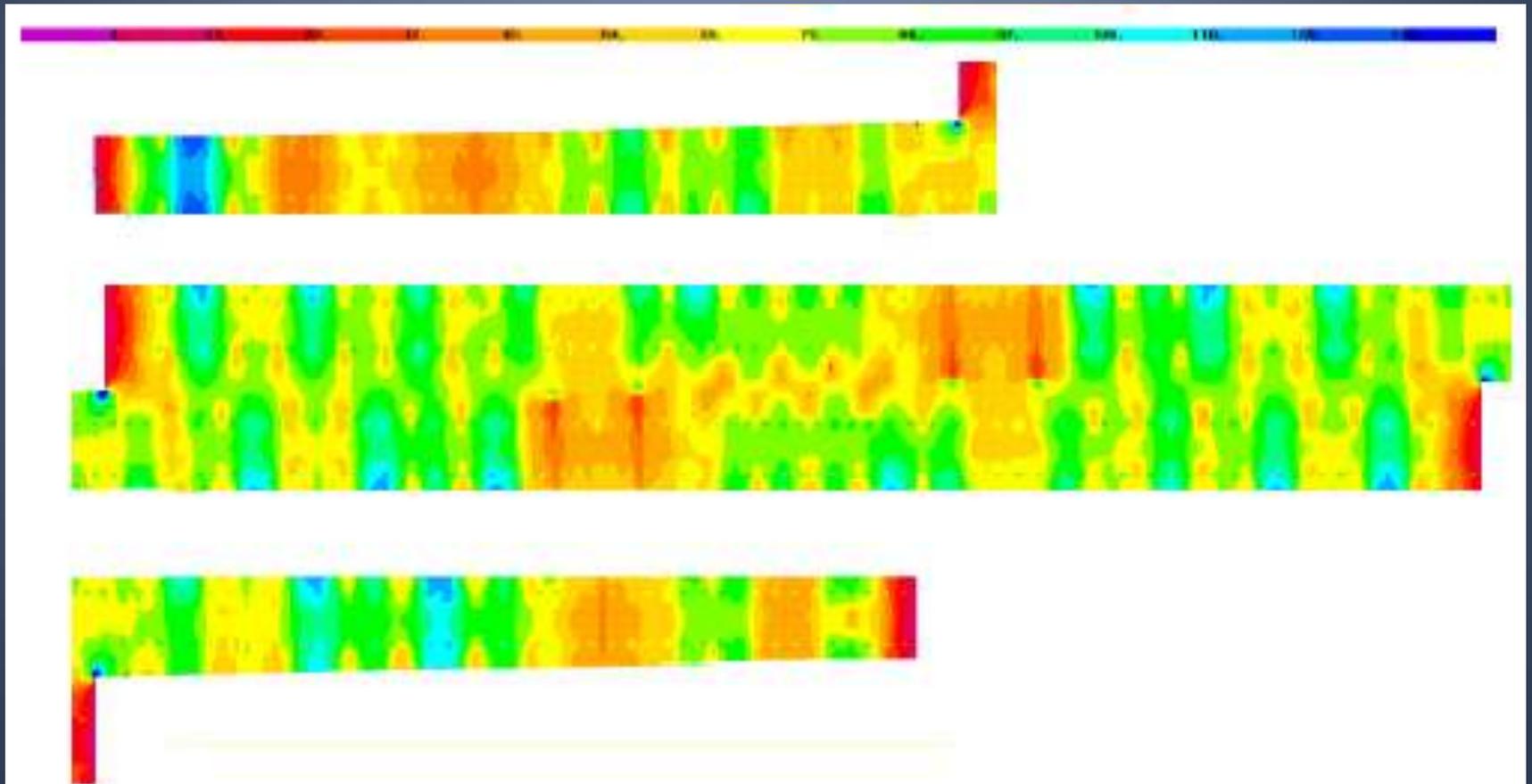


# EXEMPLO DE UMA REGIÃO DO MODELO COM UMA DAS CARGAS DE TREM TIPO NA VIA DESVIADA



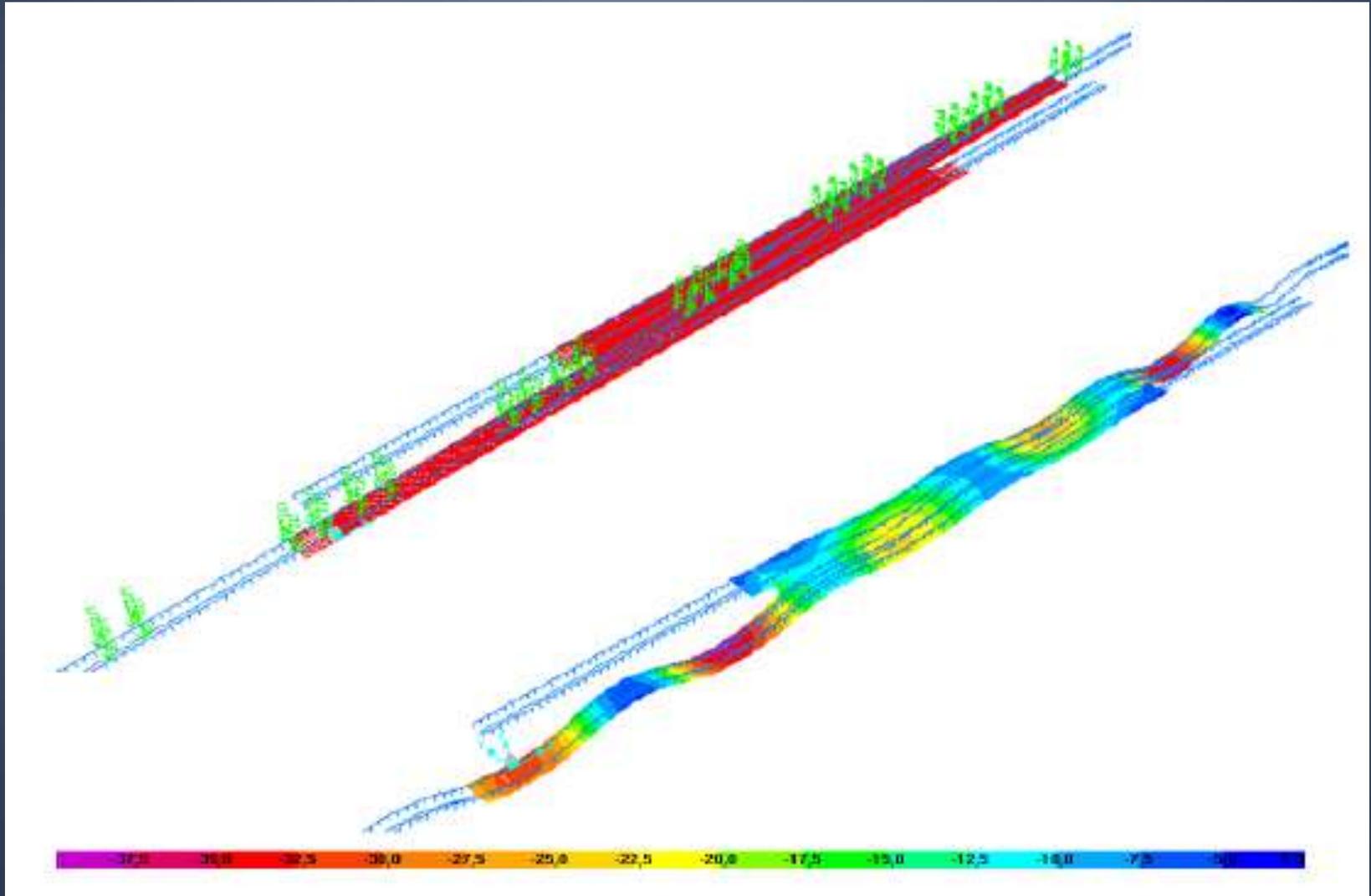
# ESFORÇOS – MODELO GERAL

Exemplo de Envoltória de momentos longitudinais máximos–  $M_{11}$  – (kNm/m)



# DESLOCAMENTOS – MODELO GERAL

Exemplo de deformada para um dos casos de carregamento com trem tipo na via desviada - (mm)



# MODELO LOCALIZADO

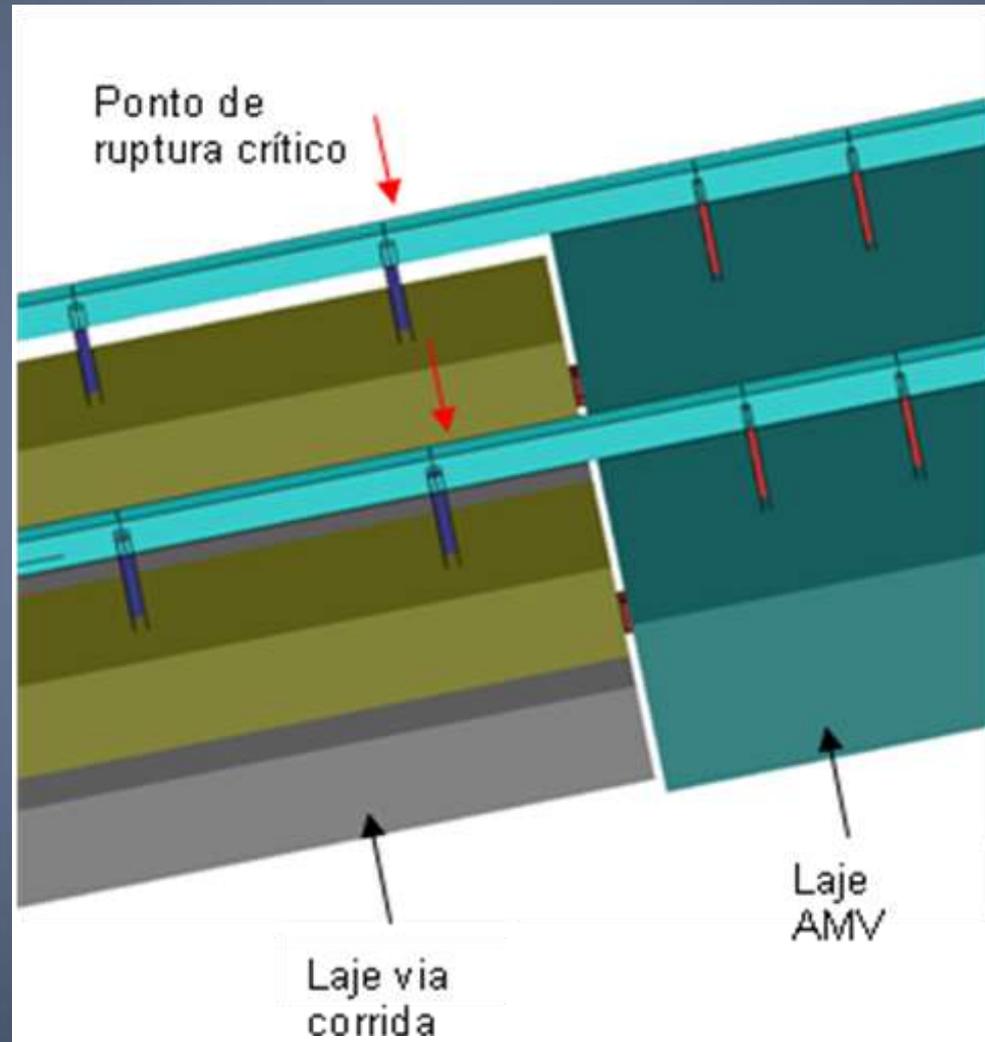
## CARACTERÍSTICAS

- TRILHOS DESCONTÍNUOS NAS JUNTAS e APLICAÇÃO DE VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NOS TRILHOS – PARA VERIFICAÇÃO DE EVENTO EXCEPCIONAL
- TRILHOS CONTÍNUOS NAS JUNTAS – PARA FADIGA DAS BARRAS DE TRANSFERÊNCIA
- APENAS UM CARREGAMENTO NA POSIÇÃO DESFAVORÁVEL
- ANÁLISE NÃO LINEAR – GAP NAS BARRAS DE TRANSFERÊNCIA
- MAIOR DISCRETIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DE MEF - REGIÕES DE JUNTAS

## VERIFICAÇÕES

- REFORÇOS NAS ARMADURAS DE BORDA
- VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS BARRAS DE TRANSFERÊNCIA
- VERIFICAÇÃO DA FADIGA DAS BARRAS DE TRANSFERÊNCIA
- CÁLCULO DA FRETAGEM DAS BARRAS DE TRANSFERÊNCIA

# MODELO LOCALIZADO – ANÁLISE DE EVENTO EXCEPCIONAL TRILHOS DESCONTINUADOS NAS JUNTAS



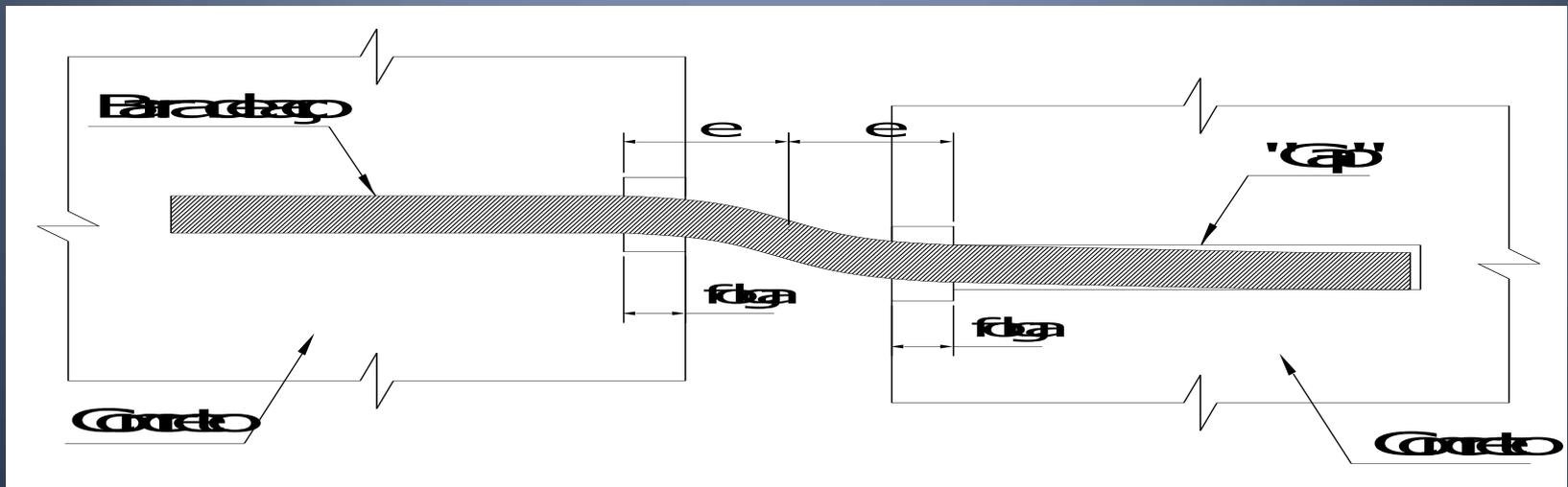
# CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DO MODELO LOCALIZADO

## ELEMENTOS DE BARRAS DE TRANSFERÊNCIA

BARRAS LONGITUDINAIS CUJA VINCULAÇÃO EM UMA EXTREMIDADE É LIVRE À TRANSLAÇÃO LONGITUDINAL E VINCULADA À TRANSLAÇÃO TRANSVERSAL COM UM "GAP", EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DO PAPEL KRAFT ESPECIFICADO EM PROJETO – A SER VENCIDO ANTES DO INÍCIO DA TRANSMISSÃO DE ESFORÇOS ENTRE AS LAJES ADJACENTES.

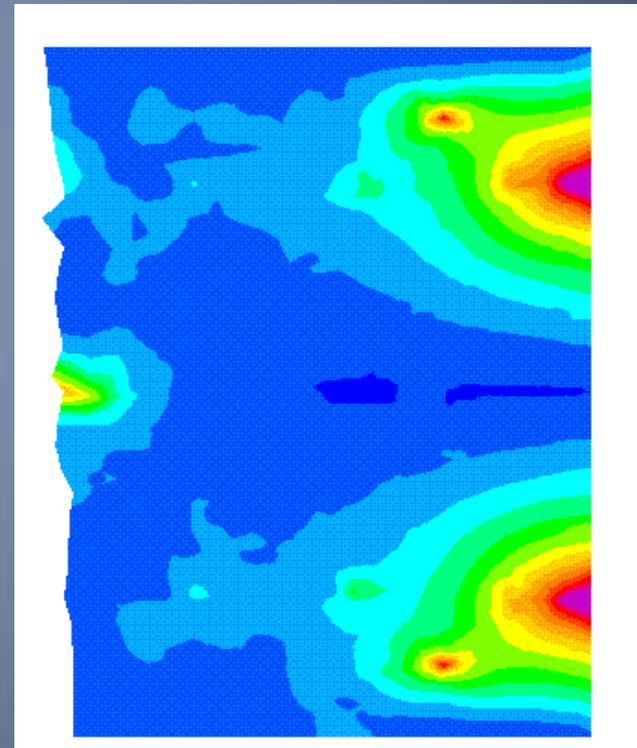
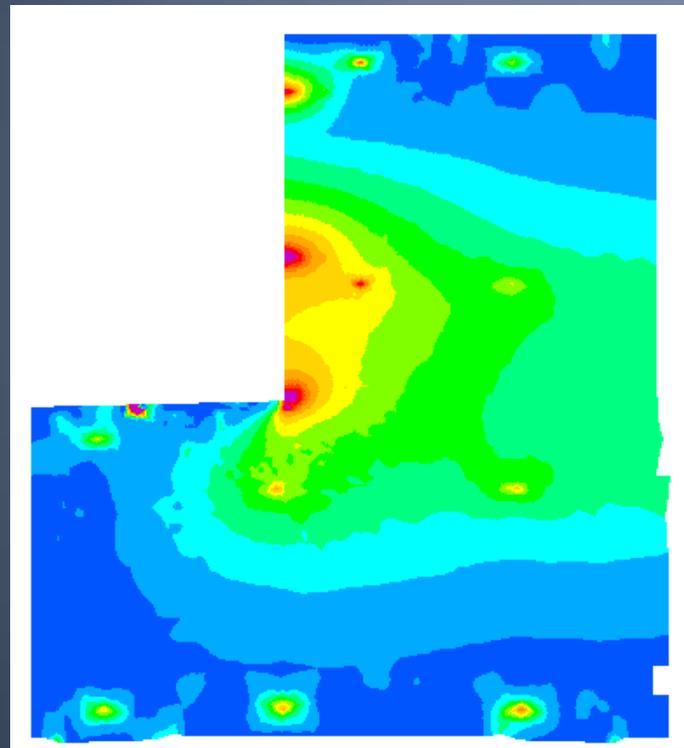
LADO ESQUERDO – TOTALMENTE VINCULADO

LADO DIREITO - 2 LINKS VERTICAIS COM COMPORTAMENTO NÃO LINEAR



## ESFORÇOS – MODELO LOCALIZADO

Exemplo de Envoltória de momentos transversais mínimos – ruptura de trilho - M22 (kNm/m)



# VERIFICAÇÕES

## RESISTÊNCIA (ELU)

**LAJE** – teoria clássica de concreto armado, segundo a NBR-6118/2007 – resultados do modelo geral – Wood&Armer

## RESISTÊNCIA (ELU) – Evento Excepcional – Ruptura dupla de trilhos

**LAJE** – teoria clássica de concreto armado, segundo a NBR-6118/2007 – resultados do modelo localizado – reforços na laje nas regiões de junta

**BARRAS DE TRANSFERÊNCIA** – modelo localizado – trilhos rompidos

$$\frac{M}{W * \sigma_{rd}} + \frac{V}{A * \tau_{rd}} \leq 1$$

$$\sigma_{rd} = \frac{f_y}{\gamma a_1} \quad \tau_{rd} = \frac{0,3 * f_y}{\gamma a_2}$$

# VERIFICAÇÕES

## FADIGA

**AÇO E CONCRETO** - Em Estádio II, com  $\eta=10$ , segundo NBR-6118/2007 – resultados do modelo geral

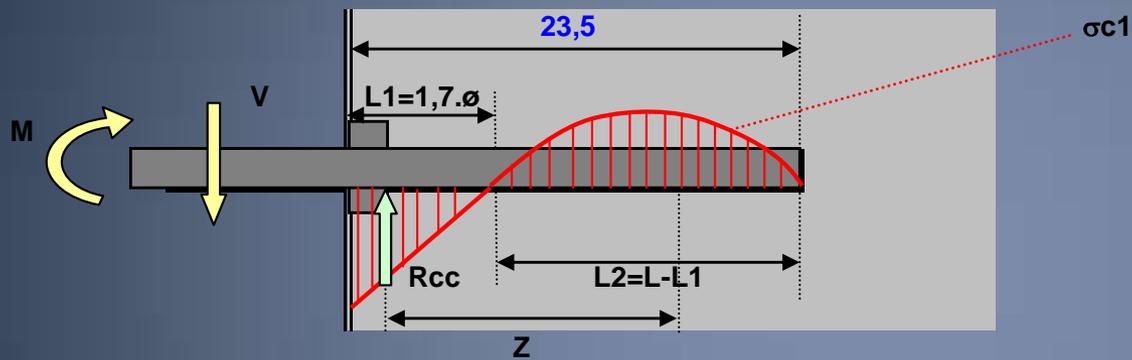
**BARRAS DE TRANSFERÊNCIA** – resultados do modelo localizado com trilhos contínuos

## ANÁLISE DE DESEMPENHO EM SERVIÇO - MODELO GERAL

**DEFORMAÇÕES** – Análise qualitativa, secundária, pois a estabilidade da via permanente é objeto de projeto específico.

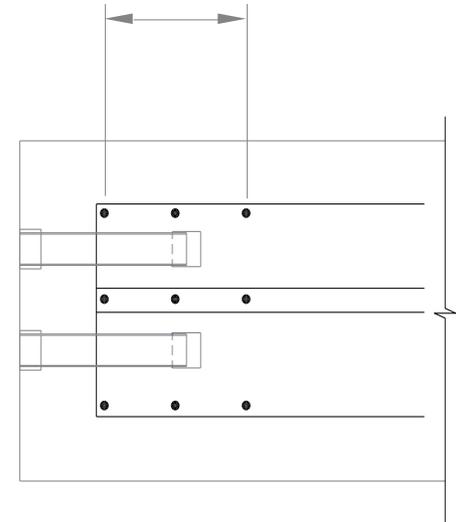
**ABERTURA DE FISSURAS** - Em Estádio II, com  $\eta=15$ , e limitação de abertura a 0,30mm.

# FRETAGEM DAS BTs



$$A_{st \text{ nec}} = 0,3 \times R_{cc} / f_{yd}$$

3X3  $\phi$  12.5 C/10



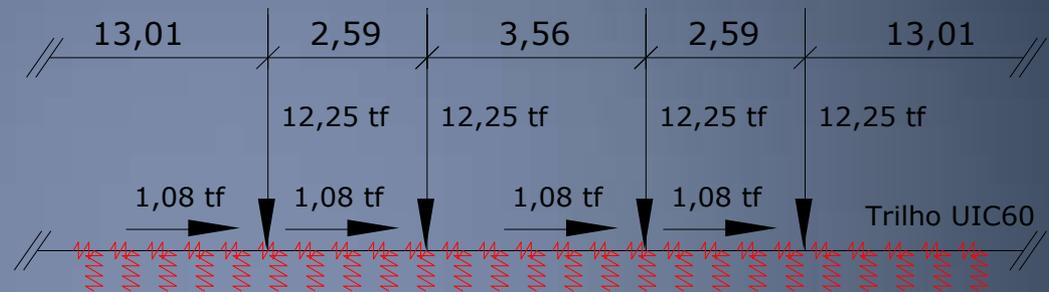
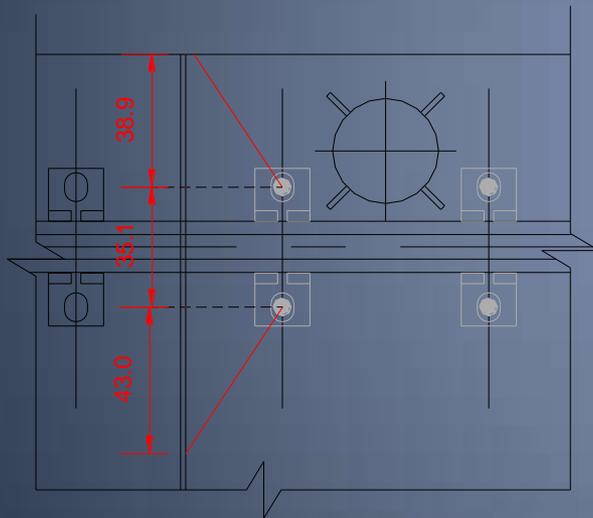
2X7  $\phi$  12.5

# VERIFICAÇÕES ADICIONAIS

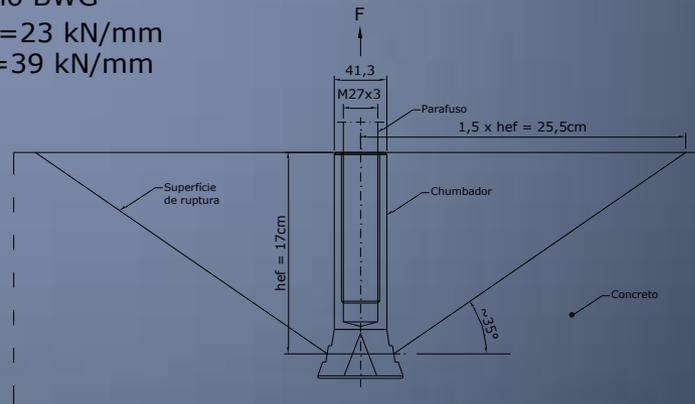
**CHUMBADORES** – Segundo o anexo D do ACI 318R-08.

**RUPTURA A TRAÇÃO, CISALHAMENTO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL**

**DISTÂNCIA MÍNIMA AO ISOAMORTECEDOR** – Garantir o estabelecimento do tronco de cone de arrancamento e o comportamento uniforme das tensões.



Apoio BWG  
 $k_{vd} = 23 \text{ kN/mm}$   
 $k_{ld} = 39 \text{ kN/mm}$



**PUNÇÃO NA LAJE** – Em torno de isoamortecedores próximos às bordas da laje – Normalmente não é limitante.

## PARTICULARIDADES

DISCRETIZAÇÃO DA MALHA – MAIS REFINADA DEVIDO À DISTÂNCIA ENTRE AS FIXAÇÕES

ANÁLISE NÃO LINEAR DAS BARRAS DE TRANSFERÊNCIA – ANÁLISES LINEARES RESULTAM PICOS DE IRREAIS ESFORÇOS

FADIGA DOS ISOAMORTECEDORES SOB AÇÃO DE CARGAS VERTICAIS CÍCLICAS – FUNÇÃO DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS CONCOMITANTES- ANÁLISE DE MODELO PARTICULAR SOBRE MOLAS DE COMPORTAMENTO ELASTO-PLÁSTICO NA DIREÇÃO HORIZONTAL POR ESCORREGAMENTO

OS EFEITOS DE RETRAÇÃO E DAS CARGAS DINÂMICAS CAUSAM FISSURAS RADIAIS AO REDOR DOS ISOAMORTECEDORES – OBSERVADAS EM LAJES JÁ EM OPERAÇÃO – OPTOU-SE POR DETALHAR ARMADURAS DE COSTURA PARA MELHOR DISTRIBUIÇÃO DE TAIS FISSURAS.

A laje é concreada sobre uma manta para facilitar o seu descolamento



Detalhe do cilindro metálico no qual a mola é inserida



## ARMADURA DE COSTURA DAS FISSURAS RADIAIS





Para correta locação dos chumbadores das fixações, o AMV é montado sobre a laje antes da concretagem







Junta entre laje do  
AMV a concretar e  
laje da via corrida já  
concretada

Nicho na região da barra de transferência somente é concretado após o levantamento da laje.





Laje concretada – acesso às molas pelas tampas dos cilindros na face superior

